ファイバレーザで、高反射率材料の加工が可能に

ダーブ・A. V. クライナー、ジェイク・ベル、リン・シーハン

加工物からの戻り反射を隔離する技術

高反射率材料のレーザ加工は、現在の製造環境において重要である。しかし、多くの種類のレーザ技術が、本質的に反射戻り光の影響を受けやすいという問題を抱えている。反射戻り光は、加工の安定性の低下や自動停止による処理の中断、さらにはレーザの壊滅的な故障につながる恐れがある。新世代のファイバレーザは、高性能部品に対するこのような制約に対処し、高反射率材料を連続的に加工することのできる新しいアーキテクチュアを備える(**図1**)。

数キロワットレベルのファイバレーザシステムの多くが、溶融ファイバ結合器によって複数の低出力ファイバレーザの出力を組み合わせるというアーキテクチュアを採用しており、これが、技術的にもコスト的にも性能が抑えられる要因になっている可能性がある。本記事において最も重要なのは、ファイバレーザと結合器のモジュールが、材料加工中に生じる戻り反射によって不安定になったりダメージを受けたりする可能性が高いという点である。

nLIGHT altaファイバレーザは、このような問題を解決する新しいアーキテクチュアを採用している。ここでは、ポンプダイオードとドライバがスタンドアロンのポンプモジュールに収容され、ゲインファイバが構成可能なゲインモジュールに収容されている(**図2**)。4kWを超える出力が生成可能なこのゲインモジュールには、堅牢な戻り反射アイソレータが搭載されており、これによってすべてのモジュールを加工物による戻り反射から保護することで、高反射率材料に対する安定した連続的な加工が可能となっている。このコンポーネントは、実環境での耐用試験と検証が実施済みで、銅、金、銀、仕上げに研磨された金属を含む反射性の材料を、連続的に正しく加工できることが実証されている。その結果についてユーザーからは、レーザを停止させたり、永続的なダメージを被ったりすることなく、これらの材料を加工できたのはこれが初めてだという感想が寄せられている。

図1　nLIGHT alta産業用ファイバレーザは、最大1kWのラックマウント型(左)と最大4kWのスタンドアロン型(右)で提供されている。

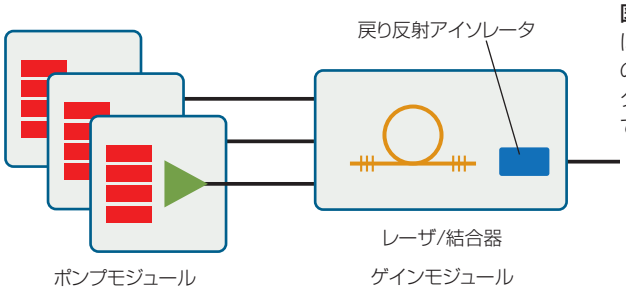


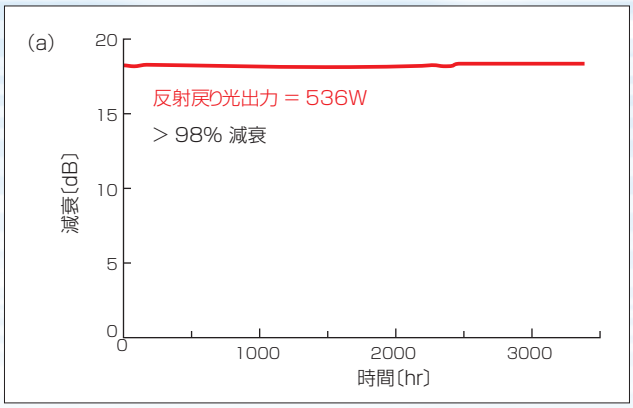
図2　nLIGHT altaレーザは、レーザと供給ファイバの間に戻り反射アイソレータが搭載された設計になっている[1]。

戻り反射の隔離

一般的な戻り反射は、加工物の表面が不規則であったり、面法線に対する位置合わせが不正確であったり、加工光学部品の集光角度が狭かったりすることに起因して、レーザ出力のほんの一部が反射する現象である。また多くの場合、戻り反射は、穴あけなどの処

理において、短時間しか発生しない。それにもかかわらず、一部のファイバレーザの設計では、反射性材料の加工が難しかったり不可能であったりする。戻り反射による一般的なダメージとしては、ポリマー材料に光が当たることによる過熱や燃焼がある。nLIGHT altaファイバレーザは、反射戻り光を供給ファイバに結合させ、水冷ビームダンプへと導き、そこでポリマーに作用させることなく熱に変換することにより、ダメージを引き起こす主要なメカニズムを排除する。ポリマーを使用しないこのアイソレータは、500Wを超える出力を連続的に除去できることが、耐用試験によって実証されている(**図3**)。この隔離システムの性能を、穴あけの処理に対して評価した。穴あけは、レーザ切断時に最も高い戻り反射が発生する処理である。この試験において、銅の穴あけを4000回連続で、処理を中断したり穴あけに失敗したりすることなく、実行することができた。この戻り反射アイソレータによる堅牢なハードウェアベースの保護とは対照的に、他のファイバレーザの中には、戻り反射が生じた場合にレーザを停止させるソフトウェア保護を採用するものもある。この方法では、レーザは保護されるかもしれないが、連続的に材料加工を行うことはできない。

アイソレータで除去された反射戻り光は、フォトダイオードによって監視される。ユーザーはこのセンサのリアルタイム出力を、プロセスの監視、最適化、制御(穴あけ検出など)や、ツールの校正(ビーム位置や焦点など)に利用できる(**図4**)。



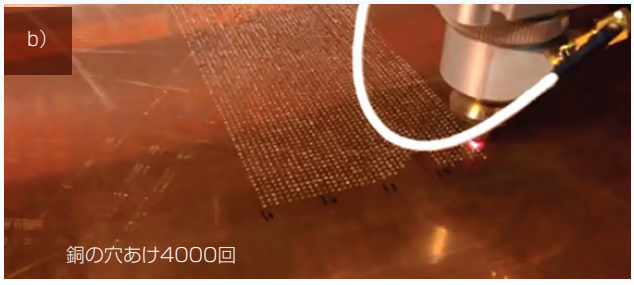


図3　500Wを超える戻り光を数千時間にわたってレーザに当てる、レーザ安定性の連続的なストレス試験において、動作が不安定になる様子は見られず(a)、顧客が実施した3kWのnLIGHT altaファイバレーザによる銅の穴あけ試験では、処理の中断や穴あけの失敗なく、4000回の穴あけを高速かつ連続的に行うことができた(b)。

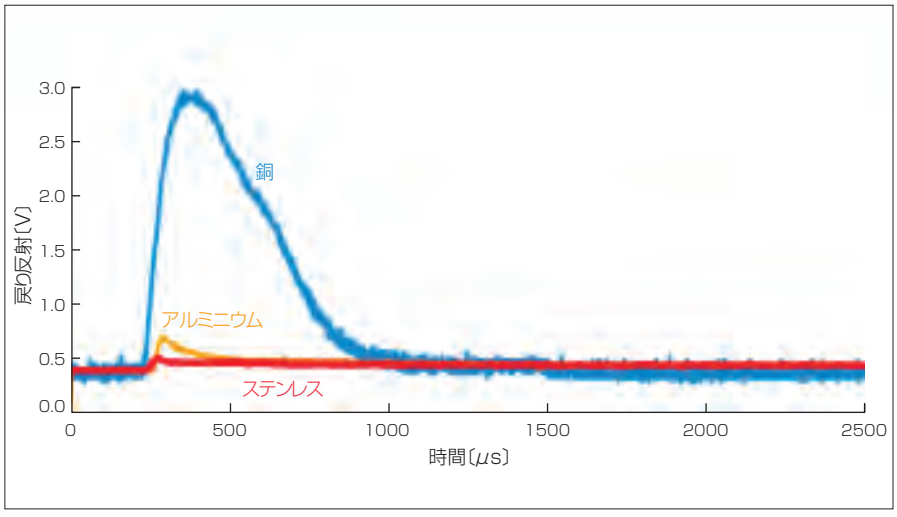


図4　ステンレス鋼、アルミニウム、銅製の板金の穴あけ時に、加工物から反射して戻ってくるレーザ光の信号の例。

高反射率材料の切断結果

板金切断は、キロワットレベルのファイバレーザが最も多く利用される用途である。軽量化やリチウムイオンバッテリセルなど、自動車、航空宇宙、エレクトロニクスの業界における応用分野では、ステンレス鋼／鏡面ステンレス鋼、アルミニウム、真ちゅう、銅、銀、金などの高反射率材料の利用が高まっている。

このような材料の多くは、穴あけ時の戻り反射が高いため、特に加工が難しい。しかし、新しいファイバレーザでは、安定性の低下や加工の失敗はこれまで生じていない。3kWのファイバレーザでこれまでに切断した材料の最大厚みは、ステンレス鋼、アルミニウム、真ちゅうで12mm、銅で10mmである。切断の速度と品質は、他のファイバレーザと同等かそれ以上で、プロセスをさらに最適化することによって、最大厚み、切断速度、エッジ品質をさらに

高めることができる(**図5**)。

高反射率材料の溶接結果

nLIGHT altaファイバレーザは、軟鋼、ステンレス鋼、アルミニウム、真ちゅう、銅の溶接にも使用されている。溶接では一般的に、切断よりも高く持続的な戻り反射が生じるが、垂直入射による溶接においても、レーザの安定性低下やダメージは観測されていない。**図6**は、銅溶接の例である。銅溶接は、他のファイバレーザでは深刻なダメージが生じる、特に難しい処理である。**図7**は、nLIGHT altaファイバレーザと従来のファイバレーザによって溶接した真ちゅうの断面を示したものである。前者によって優れた溶接品質が得られていることがはっきりと見てとれる。

本稿で紹介した次世代ファイバレーザ・アーキテクチュアは、キロワットレベルのレーザ材料加工に革命をもたらす。特に反射性材料は、これまでのファイバレーザでは、設計そのものの制約や、レーザの停止によって戻り反射の問題に対処するというやり方に伴う制約から、加工することができなかった。nLIGHT altaの戻り反射アイソレータは、このレーザアーキテクチュアに完全に統合されている。他の解決策として、保護機構を加工ファイバや空き領域の光学部品に組み込む方法や、ダメージの危険性がある場合にレーザを停止する機構を設ける方法がある。このような方法では、ダメージの問題そのものは解決されず、装置の稼働時間が短くなったり、反射性材料を加工する能力が制約されたりする。nLIGHT altaファイバレーザは、要件の厳しい世界中の工場環境に導入されており、高反射率材料の連続加工を含む、さまざまな応用分野において比類ない性能、信頼性、稼働時間が実証されている。

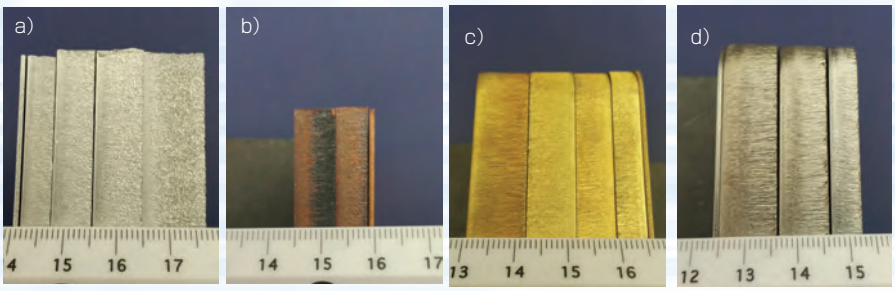


図5　アルミニウム(a)、銅(b)、真ちゅう(c)、ステンレス鋼(d)の切断例。

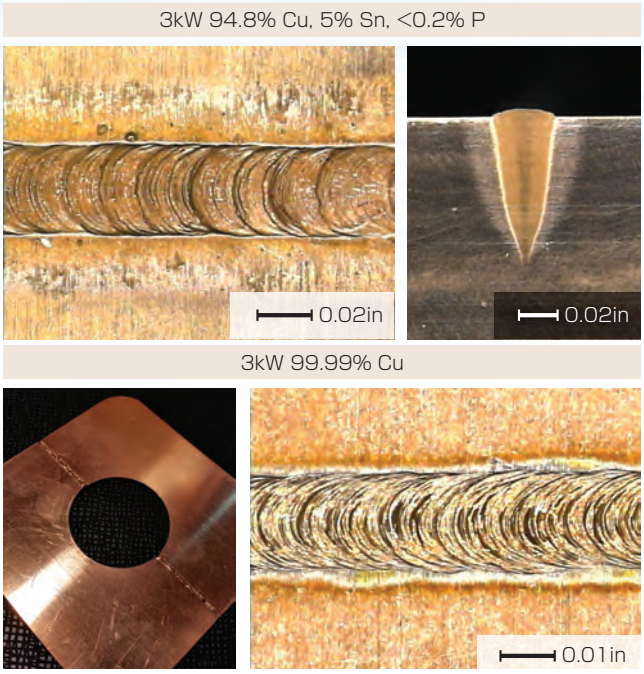


図6　510シリーズの銅溶接シームの溶接例(左上)とその断面(右上)、溶接後のサンプル部品(左下)と純粋な101シリーズの銅溶接シーム(右下)。

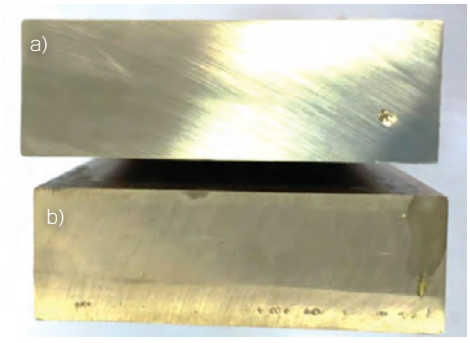


図7　それぞれ3kWのnLIGHT altaファイバレーザ(a)と従来のファイバレーザ(b)によって溶接した真ちゅうの研磨済み断面。(a)の方が優れた溶接品質が達成されているのがわかる。(b)では、溶接シームに沿って欠陥(ポア)が生じているのが見てとれる。

注記

nLIGHT altaは、エヌライト社の商標。

参考文献

(1) D.A.V. Kliner, "nLIGHTalta: Aversatile, next-generation fiber laser platform for kW materials processing," The 8th Laser Materials Processing Conference(Jan. 19-20, 2016).

著者紹介

ダーブ・A. V. クライナー(DAHV A. V. KLINER)、ジェイク・ベル(JAKE BELL)、リン・シーハン(LYNN SHEEHAN)はすべて、米エヌライト社(nLIGHT Corporation)所属。
e-mail: lynn.sheehan@nlight.net　URL: www.nlight.net

ILSJ